



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SAVOLAISEN EKO-PIENTALON EKOLOGIAN JA EKONOMIAN TARKASTELU

TEKIJÄ: Melissa Turunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Melissa Amanda Turunen			
Työn nimi Savolaisen eko-pientalon ekologia ja ekonomian tarkastelu			
Päiväys	16.11.2015	Sivumäärä/Liitteet	34/2
Ohjaaja(t) Lehtori Harry Dunkel, lehtori Ville Kuusela			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-AMK, RIP-hanke			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin savolaisen eko-pientalon ekologisuutta ja ekonomiaa tutkimalla rakentamisen ympäristövaikutuksia sekä laskemalla kustannukset. Tämä opinnäytetyö oli osana Savonia-ammattikorkeakoulun RIP-hankkeen savolainen eko-pientalo projektia. Projektin aikaisemmat osat ovat tehneet kaksi rakennustekniikan opiskelijaa sekä yksi ympäristötekniikan opiskelija. Työn tavoitteena oli tutkia, miten erilaiset materiaalit, rakenteet ja rakennustavat vaikuttavat rakennuksen ekologisuuteen ja ekonomiaan.</p> <p>Lähtökohtana työlle oli kolmannen vuoden rakennustekniikan opiskelijoiden omassa projektissa tehdyt arkkitehtipii-rustukset. Lisäksi tähän työhön saatiin projektin aikaisempien töiden tuloksia rakenteista aiheuttamista päästöistä ja kustannuksista. Tässä työssä tutkittiin koko rakennuksen ekologisuutta yhdistämällä projektin aikaisempien töiden rakenteita erilaisiksi taloiksi ja laskemalla niille päästöt, kustannukset sekä e-luvut. Työhön on alkuun kerätty tietoa ekologisesta rakentamisesta ja E-luvun laskennasta. Työn lopussa on esitelty saadut tulokset. Rakentamisesta syntyvät kustannukset ja päästöt laskettiin Excel taulukkolaskenta ohjelman avulla. E-lukujen lasketaan käytettiin lamit energianjäännöslaskentaohjelmaa.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin tietoa paljonko päästöjen ja kustannuksia esimerkki taloista syntyy sekä tietoa rakennusten energiankulutuksesta. Tuloksia voitiin verrata toisiinsa ja saatiin selville miten paljon päästöihin ja energiakulutukseen voi vaikuttaa materiaali valinnoilla. Tutkimukset tarkoituksena oli selvittää miten rakentaminen ja materiaalit vaikuttavat ympäristöön ja millaisia eroja rakennustavoilla voi olla. Tuloksista voi huomata, että ekologisuus on monen pienen tekijän summa.</p>			
Avainsanat Ekologia, e-luku, ekonomia, energiatehokkuus			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Melissa Amanda Turunen			
Title of Thesis Ecology and Economy of a Small House in the Savo Area			
Date	November 16, 2015	Pages/Appendices	34/2
Supervisor(s) Mr. Harry Dunkel, Senior Lecturer, Mr. Ville Kuusela, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences, RIP-Project			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to investigate the ecology and economy of an ecological detached house in Savo area by studying the environmental impact of the construction as well as calculating the costs. This study is a part of the ecological detached house project, which is part of the RIP projects of Savonia University of Applied Sciences. Former parts of the project were made by two civil engineering students and one student of environmental technology. The aim was to study how different materials, structures and constructing methods impact on the ecology and economy of the building.</p> <p>The starting point of this work was the architect drawings made by the third year civil engineering students in their own project. In addition to this, information about the costs and emissions from the structures that was based on the previous projects was also available. The ecology of the entire building was studied so that the structures developed in this project earlier were combined to build different houses and then the costs, emissions and energy efficiency numbers were calculated. At the beginning of the work there is information about ecological construction and about how to calculate the energy efficiency number. The results are presented at the end of the work. Costs and emission results of the construction were calculated with an Excel-Program. Lamit energiajunior- calculation program was used to calculate the energy efficiency numbers.</p> <p>As a result of this study there was information about emissions and costs of materials as well as about information on energy consumption of buildings. The results were compared to each other to find out how much the choice of material can affect emissions and energy consumption. The aim was to find out how the construction and materials affect the environment and what kind of differences there can be in construction methods. The results show that the ecology is a sum of many small factors.</p>			
Keywords ecology, economy, energy efficiency			
public			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.2	Savolainen eko-pientalo ja RIP-hanke .....	7
2	EKOLOGINEN RAKENTAMINEN .....	8
2.1	Ekologisuus ja elinkaari .....	9
2.2	Painovoimainen ilmanvaihto .....	10
2.3	Aurinkoenergia .....	10
2.4	Energiatehokkuus .....	11
3	E-LUKU.....	12
3.1	Pinta-alat.....	13
3.2	Tilojen lämmitysenergian nettotarve .....	14
3.3	Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt .....	14
3.4	Kylmäsiilat.....	15
3.5	Vuotoilman lämpenemisen tarve .....	16
3.6	Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve.....	17
3.7	Lämpökuormat .....	18
3.8	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve .....	18
3.9	Käyttöveden lämmitys aurinkokeräimellä .....	19
3.10	Lämmitysjärjestelmän energian kulutus .....	19
3.11	Lamit .....	20
3.12	Rakennukset.....	21
4	RAKENNUKSIEN E-LUVUT .....	23
5	RAKENNUS KUSTANNUKSET .....	24
6	PÄÄSTÖT .....	26
6.1	Energian käyttö .....	26
6.2	Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	27
6.3	Happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	28
6.4	Alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä .....	29
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	30
	LÄHTEET .....	31

## LIITTEET

Liite 1	Päästö laskelmat
Liite 2	Kustannuslaskelmat

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää millaisia vaikutuksia rakentamisella ja itse rakennuksella on ympäristöön sekä rakentamisen kustannuksiin. Tällä työllä on myös tarkoitus tuoda uutta näkökulmaa uusiutuviin energiamääryksiin ja ekologisuutteen. Työssä tutkitaan savolaisen eko-pientalon ekologisuutta ja ekonomiaa. Tavoitteena on selvittää millaiset rakenteet ja materiaalit ovat ekologisia ja ekonomisia kun tarkastellaan savolaista eko-pientaloa rakentamisen aikana ja valmiina. Tarkastelun työkaluna toimii hiilijalanjälki, e-luku sekä kustannuslaskelmat. Tarkasteluissa talo on sijoitettu Kuopioon ja on rakennettu paikallisella työvoimalla. Työssä tutkitaan millaiset ratkaisut parantavat rakennuksen ekologisuutta.

Opinnäytetyö on osa RIP-hankkeen savolainen eko-pientalo- projektia. Tämä työ on jatkumoa muille opinnäytetöille, jotka tehtiin savolainen eko-pientalo projektissa. Timo Lohelan opinnäytetyössä savolaisen eko-pientalon rakennusosien ekologisuuden tarkastelu sekä Sauli Schroderuksen opinnäytetyössä savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaalien LCA-tarkastelu, tutkittiin rakenteiden, sekä materiaalien ekologisuutta ja ekonomisuutta. Tämän työn tarkoitus on yhdistellä rakenteista erilaisia vaihtoehtoja ja tutkia rakennusten ekologisuutta ja ekonomiaa kokonaisuudessa.

Alkuun laskettiin rakennusten E-luvut, joiden laskemiseen käytettiin Lomit energiajunior laskentaohjelmaa. Seuraavaksi alettiin tutkia Timo Lohelan työstä saatuja tuloksia ja yhdistettiin rakenteet taloiksi joista muodostui kahdeksan erilaista talo vaihtoehtoja. Rakenteiden tuloksia yhdisteltiin talon eriversioiden mukaan ja siten jokaiselle versiolle saatiin laskettua päästöt ja kustannukset. Lopuksi vertailtiin tuloksia.

## 1.2 Savolainen eko-pientalo ja RIP-hanke

Opinnäytetyössä käsiteltävän talon suunnitteli kolmannen vuoden rakennustekniikan opiskelijat omassa projektissaan. Talosta saatiin arkkitehti piirustukset, joiden perusteella rakennukselle suunniteltiin erilaisia rakenteita. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen pohjapiirros.

RIP-hankkeen (rakentamisen innovatiiviset puutuotteet) rahoituksesta vastaa Euroopan sosiaalirahasto, hankkeen on tarkoitus kestää kaksi vuotta. Projektin toteuttaja on Savonia-Ammattikorkeakoulun kuntayhtymä. RIP-hankkeeseen kuuluva työ jakaantuu kolmeen opinnäytetyöhön. Ensimmäinen työ tutki rakennusmateriaalien ekologisuutta käyttäen apunaan valmiita rakennusmateriaalien ympäristöselosteita, sekä OpenLCA-ohjelman Ökobaudat tietokantaa. Seuraava työ tutki rakenteiden ekologisuutta hiilijalanjäljen avulla. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan koko rakennuksen ekologisuutta E-luvun avulla ja aikaisemmista töistä saaduilla tiedoilla.



KUVA 1 Savolaisen eko-pientalon pohjapiirustus (Lehtori Ville Kuuselaalta saatu pohjapiirustus, 2014).

## 2 EKOLOGINEN RAKENTAMINEN

Ekologisessa rakentamisessa pyritään vahingoittamaan mahdollisimman vähän ympäristöä.

Työn tarkoituksena on suunnitella talo joka kestää useita, jopa satoja vuosia. Pitkän käyttöiän saavuttamiseksi olisi hyvä käyttää kestäviä materiaaleja, jotka yleensä eivät ole ekologisesti parhaimpia ratkaisuja. Rakennuksen pitkä käyttöikä kuitenkin vähentää suhteellisesti rakennuksesta koituvia ympäristö haittoja, koska rakenteita ei tarvitse huoltaa tai uusia usein.

Energiatehokkaita taloja on useita versioita ja tehokkuudeltaan eritasoisia. Matalaenergiatalo on rakennus jonka lämmittämiseen kuluu 85 % energiaa vähemmän verrattuna miniminormit täyttävän talon tarpeeseen. Alhaiseen energian kulutukseen päästään vaipan hyvän eristävyyden ja ilmanpitävyyden, ilmanvaihdon tehokkaan lämmöntalteenoton avulla. Matalaenergiatalon rakennuskustannukset ovat vain muutaman prosentin korkeammat kuin vastaavan tavallisen talon ja ero saadaan korvattua muutaman vuoden käytön aikana. Matala energiataloa hieman tehokkaampi talo on Passiivitalo. Passiivitalon lämmitysenergian tarve on vain viidennes tavallisen talon tarpeista. Talo pysyy lämpimänä valaistuksesta, laitteista ja ihmisistä vapautuvan hukkalämmön avulla. Vain talvisin kylmillä säillä on tarvetta lisälämmitykseen. Passiivitalon energiatehokkuus perustuu hyvään eristykseen, ilmanpitävyyteen ja tehokkaaseen ilmanvaihtoon liitettyyn lämmöntalteenottoon. (Suomen arkkitehtiliitto).

Lähes nollaenergiatalo on erittäin energiatehokas ja siihen on usein liitetty aurinko- ja tuulienergiaa. Lähes nollaenergiatalossa voidaan hyödyntää hajautettua energijärjestelmää, jossa energiaa tuotetaan lähellä kulutuskohdetta ja sillä voidaan täyttää kokonaan tai osittain energiantarve. Hajautettu energijärjestelmä muuttaa tavallisen yksisuuntaisen jakeluverkon kaksisuuntaiseksi. Kaksisuuntaisesta jakeluverkosta voidaan ottaa energiaa käyttöön ja siihen voidaan syöttää lähiennergiantuotanto. Lähiennergiantuotanto perustuu uusiutuviin energianlähteisiin. (Reinikainen 2014-2015,21)

Suomessa kaiken rakentamisen olisi määrä olla lähes nollaenergiarakentamista vuoteen 2020 mennessä. Plusenergiatalo tuottaa energiaa yli tarpeen. Ylijäämä energia myydään valtakunnan verkkoon. Järjestelmässä energialasku määräytyy sisään ja ulos virtaavan energian erotuksesta. Tällaisissa taloissa asuvat siis voivat jopa tienata asumisesta. Suomessa tällainen järjestelmä ei ole vielä mahdollista koska suomessa ei ole käytössä kaksoistariffijärjestelmä (Suomen arkkitehtiliitto).



## 2.1 Ekologisuus ja elinkaari

Elinkaaren hiilijalanjäljellä voidaan arvioida rakennuksen vaikutusta ilmastonmuutokseen. Se kuvaa rakennuksen toteutusta, käyttöä ja purkamista. Suurimmat päästöt elinkaaren aikana aiheutuvat käytöstä, josta koostuu merkittävin osa rakennuksen energian kulutuksesta. Elinkaaren eri vaiheiden päästöihin voidaan kuitenkin vaikuttaa suunnitteluvaiheessa (Kurnitski 2012).

Erilaisten lämmitysmuotojen päästökertoimet vaihtelevat n. 20 kgCO<sub>2</sub>/MWh:sta 400kgCO<sub>2</sub>/MWh:iin. Sähköä ei suositella käytettäväksi suoraan lämmön tuottamiseen vastuksilla sen päästökertoimen suuruuden takia. Mutta työ- ja elinkeinoministeriön skenaariossa, sen päästökertoimen oletetaan laskevan vuoteen 2030 mennessä. Tehokkaalla maalämpöpumppuratkaisulla yhdellä yksiköllä sähköä tuotetaan 3–4 yksikköä lämpöä. Parhaimmillaan maalämpöpumppujen valmistajat ilmoittavat hyötysuhteeksi jopa 5, mutta tämä voi toteutua vain tilojen lämmityksessä ja silloin, kun lämmönjako toteutetaan matalalla lämpötilalla kuten lattialämmityksessä. Kaukolämmön päästökertoimet vaihtelevat paikkakunnittain. Kaukolämpöalueella olisi järjestelmän kannalta järkevää saada kaikki rakennukset liittymään kaukolämpöverkkoon (Suomen arkkitehtiliitto 2014,15).

Tilojen lämmitystarvetta voidaan pienentää hyödyntämällä passiivista aurinkoenergiaa suuntaamalla tilat ja ikkunat etelään. Jos rakennus ei pyri hyödyntämään aurinkoenergiaa passiivisesti, ikkunat merkitsevät energiataloudessa huomattavasti eristettyä ulkovaipan kohtaa, ja ikkunapinta-alan pienentäminen merkitsee aina energiansäästöä (Suomen arkkitehtiliitto 2014,16).

Energiatehokkuutta parantaa oleellisesti lämmöntalteenotto ilmanvaihdosta. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen parantaminen on yksi kustannustehokkaimmista tavoista parantaa energiatehokkuutta. Silloin kun sisäilmanlaatuun, kosteuskuormien poistamiseen ja asumismukavuuteen liittyvät haasteet voidaan ratkaista, painovoimainen ilmanvaihto voi olla ympäristöystävällinen ratkaisu, jos tilojen lämmitysenergia on erittäin vähäpäästöistä. Lämmöntalteenotolla varustettuun koneelliseen ilmanvaihtoon verrattuna tilojen lämmitysenergiankulutus kasvaa, mutta samalla ilmanvaihtokoneen sähköenergiankulutus jää kokonaan pois (Suomen arkkitehtiliitto 2014,16).

Materiaalivalintojen merkitys rakennuksen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöissä on useassa tutkimuksessa arvioitu verrattain pieneksi. Arviot perustuvat kuitenkin yleensä kerrostalojen tunnuslukuihin. Omakotitaloissa vähäpäästöiset rakenneratkaisut ovat mahdollisia. Hyviä tuloksia saadaan esimerkiksi hirsirakenteilla. (Suomen arkkitehtiliitto 2014,00)

## 2.2 Painovoimainen ilmanvaihto

Opinnäytetyössä Suunnitelluissa taloissa on tarkoitus käyttää painovoimaista ilmanvaihtoa koneellisen ilmanvaihdon sijaan. Energiatehokkuuden tiukentuneiden vaatimuksien takia painovoimainen ilmanvaihto on vaikeampi saada rakennuksessa toimimaan ja se joudutaan ottamaan huomioon rakenteissa.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilma vaihtuu sisä- ja ulkotilan lämpötilaerojen, hormin yläpään korkeuseron sekä tuulen aiheuttamalla imulla. Painovoimaisen ilmanvaihdon heikkoutena on paineolosuhteiden epätasaisuus rakennuksen eri alueilla sekä eri vuodenaikoina. Talvisin ilman virtaus voi olla liian suurta ja aiheuttaa vetoa, kesällä taas ilmanvaihto voi jäädä liian pieneksi. Useilla yksinkertaisilla keinoilla voi kasvattaa paine-eroa ilman sisäänoton ja poiston välillä ja siten parantaa talon ilmanvaihtoa. Kaikki ratkaisut perustuvat siihen, että tuloilma otetaan sisään mahdollisimman alhaalta ja poistoilma puretaan ulos mahdollisimman ylhäällä. Jos painovoimainen ilmanvaihto ei aivan riitä, sitä voidaan tehostaa puhaltimilla. Silloin ilmanvaihtoa kutsutaan hybridi-järjestelmäksi. Pääosassa ilma vaihtuu luonnonvoimien avulla, mutta jos ilma ei liiku riittävästi, voi syntyä ylikämpöä, hajua tai liiallista kosteutta, tällöin puhallin käynnistyy automaattisesti tai se voidaan käynnistää. Yksittäisissä tiloissa kuten märkätiloissa tai keittiössä voidaan tehostaa ilman vaihtoa puhaltimella (ERAT 01-02)

## 2.3 Aurinkoenergia

Aurinkolämpöä tuotetaan aurinkokeräimin. Yleisin keräin on nestekiertoinen tasokeräin, jossa aurinko lämmittää mustapintaista tasoa, jonka sisällä kulkevilla putkissa virtaava lämmennyt neste kulkee kokoomaputkia pitkin lämmönvaraajaan. Varaajan lämpöä voidaan käyttää lämpimän käyttöveden tuottamiseen tai huoneiden lämmittämiseen. (LAPPALAINEN 2010,88)

Aurinkokeräimissä muutetaan auringonsäteet lämmöksi jota voidaan hyödyntää käyttöveden ja rakennusten lämmittämiseen. Asentamalla aurinkokeräin-järjestelmän muun lämmitysjärjestelmän rinnalle voidaan helposti vähentää muun energian tarvetta vuositasolla noin 20 - 30 %. Yksi aurinkolämpökeräineliö voi siis tuottaa vuodessa noin 250 - 500 kWh energiaa. On tärkeää muistaa, että aurinkolämpöjärjestelmän kaikki osat kuten varaaja - lämmönsiirtoputket ja järjestelmän säätö vaikuttavat kaikki järjestelmän kokonaistoimintaan ja kokonaishyötysuhteeseen. Opinnäytetyön hirsitaloon lisättiin aurinkokeräimiä ja varaaja lämpimän käyttöveden tuottamiseksi, jotta energiankulutusta saataisiin pienemmäksi ja E-lukua paremmaksi. (aurinkovoima.fi)

Aurinkosähkön tuottaminen perustuu auringon säteilyenergian hyödyntämiseen. Auringonsäteily koostuu hiukkasista, jotka kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Osuessaan aurinkokennoihin hiukkaset luovuttavat energiansa kennojen materiaalin elektroneille. Nämä hiukkasilta energiaa saaneet elektronit muodostavat sähkövirran aurinkokennojen virtajohtimiin. Aurinkosähköä voi hyödyntää parhaiten käyttämällä paljon sähköä tarvitsevia koneita päivällä. Aurinkosähköä voi myös ohjata suoraan vesivaraajaa lämmittämään käyttövetä. (Motiva 2015)

## 2.4 Energiatehokkuus

Rakentamismääräykset uudistuivat heinäkuussa 2012. Tuolloin siirryttiin uudisrakentamisessa kokonaisenergiatarkasteluun. Kokonaisenergiatarkastelussa huomioidaan kaikki rakennuksessa käytetty energia, energiamuodon kerroin sekä rakennuksen tyyppi. Määräysten tavoitteena on parantaa energiatehokkuutta 20 % ja lisätä uusiutuvien materiaalien käyttöä. Uuden laskentajärjestelmän tarkoitus on auttaa siirtymään asteittain lähes nollaenergiarakentamiseen vuoteen 2021 mennessä, muutoksen on tarkoitus tapahtua Euroopan laajuisesti. Muutoksen taustalla on vuonna 2010 uudistettu energiatehokkuusdirektiivi. Se ohjaa mittaamaan rakennusten energiatehokkuutta E-luvulla ja vaatii lähes nollaenergiarakentamista kaikkien uusien rakennusten osalta 1.1.2021 alkaen. Uudis- ja korjausrakentamisella on merkittävä rooli energiatehokkuuden parantamisessa, koska rakennuskannan energiankulutus vastaa koko Euroopassa noin 40 %:a kokonaisenergiankulutuksesta (Kurnitski 2012).

## 3 E-LUKU

E-luku eli rakennuksen koko energiankulutus lasketaan rakentamismääräyskokoelmien D5 ja D3 esitetyillä standardi arvoilla, muut arvot joita ei kokoelmissa esitetä, otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. (Ympäristöministeriö 2013,18)

Laskennan lähtöarvoina on käytettävä rakennuksen rakennusosien ja teknisten järjestelmien selvitettyjä, rakennuksen ominaisuuksia todistuksen laadinta-ajankohtana parhaiten kuvaavia arvoja silloin kun lähtöarvoille ei ole laskentasäännöissä muuta säädetty (Ympäristöministeriö 2013,19).

E-luku kuvaa energiamuotojen kertoimilla laskettu vuotuisen ostoenergiankulutuksen määrää rakennuksen nettoalaa kohden. E-luku lasketaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain kaavan (1) mukaisesti.

$$(1) \quad \frac{f_{\text{kaukolämpö}} \times Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} \times Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum_i f_{\text{polttoaine}} \times Q_{\text{polttoaine}} + f_{\text{sähkö}} \times Q_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}}$$

Energiamuotojen kertoimet perustuvat jalostamattoman luonnon energiankulutusta kuvaaviin ker-toimiin, eli niin sanottuihin primäärienergiakertoimiin ja niillä ohjataan suosimaan kotimaisia uusiutuvia polttoaineita. Kertoimissa on myös huomioitu uusiutuvan energian käyttö energiantuotannon yleinen tehokkuus. Kertoimet kannustavat käyttämään pitkälle jalostettua energiaa. (Ympäristöministeriö 2013, 10). Seuraavassa on E-luvun laskennassa käytetyt energiamuotokertoimet listattuna.

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5.

Taulukko 1. Uudisrakennuksen sallittuja e-luvun arvoja on erillispientaloille, rivi- ja ketjutaloille (Ympäristöministeriö 2013,10)

	Lämmitetty nettoala $A_{\text{netto}}$	kWh/m <sup>2</sup> , vuodessa
<b>Pientalo</b>	$A_{\text{netto}} < 120\text{m}^2$	240
	$120\text{m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150\text{m}^2$	$372 - 1,4 \times A_{\text{netto}}$
	$150\text{m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600\text{m}^2$	$173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
	$A_{\text{netto}} > 600\text{m}^2$	130
<b>Hirsitalo</b>	$A_{\text{netto}} < 120\text{m}^2$	229
	$120\text{m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150\text{m}^2$	$397 - 1,4 \times A_{\text{netto}}$
	$150\text{m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600\text{m}^2$	$198 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
	$A_{\text{netto}} > 600\text{m}^2$	155

Laskennassa käytetään RakMk (rakentamismääräyskokoelma) D3:n lukujen 3 ja 4 laskentasääntöjä ja RakMk D3 luvun 5 mukaisia laskentamenetelmiä ja työkaluja. Kuukausitason laskentamenetelmänä voidaan käyttää RakMk D5/ 2012:ssa esitettyä laskentamenetelmää. (Ympäristöministeriö 2013, 18)

Ostoenergialla tarkoitetaan energiaa, joka hankitaan rakennukseen esimerkiksi sähköverkosta tai kaukolämpöverkosta. Ostoenergia koostuu lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuultajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä, missä on otettu huomioon hyväksikäytetyn uusiutuvan omavaraisenergian ostoenergiaa pienentävä vaikutus. Rakennuksen ostoenergiankulutus on laskettava käyttötarkoitukseluokittain esitetyillä vakioituilla lähtöarvoilla, joita ovat sisäilmasto-olosuhteet (ilmanvaihdon ilmamäärät ja sisälämpötilat), rakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat, sekä lämpimän käyttöveden kulutus. (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2015,13)

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi rakentamismääräyskokoelma D5:ssä esitettyä laskentaa läpi tässä työssä tarvittavien tietojen osalta.

### 3.1 Pinta-alat

Lämmitetty nettoala on kerrosalojen summa ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna. Lämmitetty nettoala voidaan myös laskea bruttoalasta, josta on vähennetty ulkoseinien rakennusosa-ala. Puoli lämpimät tilat kuten ullakot ja varastot luokitellaan lämpimiksi tiloiksi. Kylmiä tiloja ei oteta huomioon laskennassa (Energiatehokkuus suomen RakMK D3 2012/05).

Ostoenergian laskennassa tarvittavien rakennusosien pinta-alat määritetään rakennuksen kokonais-sisämittojen mukaan. Alapohjan pinta-alaa laskettaessa erilaisten aukkojen, rakenteiden tai läpivientien pinta-aloja ei vähennetä. Yläpohjan pinta-ala lasketaan ulkoseinien sisämittojen mukaan. Kuten alapohjassa, läpivientien pinta-aloja ei vähennetä, mutta kattoikkunoiden pinta-alat vähennetään. Ulkoseinien pinta-alat lasketaan alapohjan lattiapinnasta yläpohjan alapintaan saakka. Mitat lasketaan seinien sisäpinnasta. Aukkojen, kuten ovien ja ikkunoiden sisäpinnat, vähennetään pinta-alasta. Ikkunoiden ja ovien pinta-alat lasketaan karmirakenteen ulkomittojen mukaan. Julkisivun tai katon pinnasta huomattavasti poikkeavien ikkunoiden ja aukkojen pinta-alat lasketaan tapauskohtaisesti (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013, 05).

### 3.2 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Lämmitysenergian nettotarve koostuu tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon, lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen nettotarpeista. Lämmityksen nettotarpeen määräävät rakennusvaipan osien pinta-alat ja U-arvot, ikkunoiden koot, rakennuksen muoto ja kylmäsiilat. Lämmitysenergian nettotarve saadaan selville tilojen lämmitysenergian tarpeen ja lämmityksessä hyödynnettävien lämpökuormien erotuksesta. Se lasketaan kaavalla (2) (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,15).

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (2)$$

Tilojen lämmitysenergian tarve eli sopivan sisäilmasto ylläpitämiseksi ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittava energiamäärä lasketaan kaavalla (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,15).

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}} \quad (3)$$

$Q_{\text{tila}}$	tilojen lämmitysenergian tarve kWh
$Q_{\text{joht}}$	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi kWh
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve kWh
$Q_{\text{iv,tuloilma}}$	tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve kWh
$Q_{\text{iv,korvausilma}}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve kWh

### 3.3 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt

Rakennuksen vaipan läpi siirtyvät lämpöhäviöt voidaan laskea johtumishäviönä. johtumislämpöhäviöihin voidaan vaikuttaa parantamalla rakenteiden U-arvoja sekä parantamalla rakenteiden ilmatiivyyttä. Lämpöhäviöt voidaan laskea kaavalla (4) (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,15).

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsiilat}} \quad (4)$$

Ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien lämpöhäviöt lasketaan kaavalla (5). Ulkoilmaan rajoittuviin osiin kuuluu ulkoseinät ( $Q_{\text{ulkoseinä}}$ ), yläpohja ( $Q_{\text{yläpohja}}$ ), alapohja ( $Q_{\text{alapohja}}$ ), ikkunat ( $Q_{\text{ikkunat}}$ ) ja ovet ( $Q_{\text{ovet}}$ ). Laskettaessa johtumislämpöhäviötä muihin tiloihin ( $Q_{\text{muu}}$ ), ulkolämpötilan  $T_u$  tilalla käytetään kyseessä olevan tilan suunnittelulämpötilaa (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,16).

$$Q_{\text{rak.osa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (5)$$

$Q_{\text{rak.osa}}$	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
$U_i$	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$A_i$	rakennusosan i pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

### 3.4 Kylmäsilat

Rakennusosien kylmäsilta syntyy kun rakennusosan lämmöneristystä joudutaan ohentamaan tai eristeen läpäisee hyvin lämpöä johtava rakennusaine. (Energia- ja ekologiakäsikirja, Lappalainen, 2010). Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamat lämpöhäviöt voidaan laskea seuraavalla kaavalla.

$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (6)$$

$Q_{\text{kylmäsilat}}$	kylmäsilat johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi, kWh
$l_k$	viivamaisen kylmäsilan pituus, m
$\Psi_k$	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(m K)

Jos laskennassa ei ole käytössä suunnitteluarvoja, voidaan käyttää Rakentamismääräyskokoelma D5 taulukon 3.1–3.3 esitettyjä arvoja. Olemassa oleville rakennuksille ominaislämpöhäviöt voidaan arvioida lisäämällä 10 % ulkovaipan johtumislämpöhäviöön (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,17).

### 3.5 Vuotoilman lämpenemisen tarve

Vuotoilmalla tarkoitetaan rakennuksen ulkovaipan epätiiveyksistä johtuvaa hallitsematonta ilman vuotoa. Vuotoilman lämpenemiseen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 7. (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,19)

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (7)$$

jossa

$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergiantarve, kWh
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti
$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_s$	Sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakso, h
1000	Kerroin jolla muutetaan arvo kilowattitunneksi

Vuotoilmavirta  $q_{v, vuotoilma}$  lasketaan kaavalla

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600x} A_{vaippa} \quad (8)$$

jossa

$q_{50}$	Rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(hm <sup>2</sup> )
$A_{vaippa}$	Vaipan pinta-ala m <sup>2</sup>
$x$	Kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35
3600	Kerroin joka muuttaa ilmavirran m <sup>3</sup> /s yksikköön

Jos ilmanpitävyyttä ei voida mitata tai muuten osoittaa, voidaan käyttää arvona 4 (m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>)). Vaipan ilmanvuotoluku saa olla enintään 4 (m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>)). Jos ilmanvuotoluku on ilmoitettu vanhalla laskettavalla  $n_{50}$  luvulla, voidaan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  laskea kaavalla. (9) (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,19)

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (9)$$

jossa

$n_{50}$	Rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
$V$	rakennuksen tilavuuus, m <sup>3</sup>
$A_{vaippa}$	vaipan pinta-ala, m <sup>2</sup>



### 3.6 Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarve

Tuloilma koskee rakennuksen ulkopuolelta virtaavaa ilmaa, joka tulee koneellisen ilmanvaihdon avulla tai korvausilmana painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Korvausilman lämpenemisen energian tarve lasketaan kaavalla 10. (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,)

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (10)$$

$Q_{iv,korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen energian tarve, kWh
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kg K)
$q_{v,korvausilma}$	korvausilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_u$	Ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	muunnos kilowattitunneiksi

Työn rakennuksissa on painovoimainen ilmanvaihto joten kaikki tuloilma tulee korvausilmavirtana, joka lasketaan kaavalla (11). Tuloilmavirran ( $q_{v,tulo}$ ) arvona on nolla (Rakennuksen energiankulutukset ja lämmitystehontarpeen laskenta suomen RakMK D5 2013,23)

$$q_{v,korvausilma} = \sum t_d t_v q_{v,poisto} - \sum t_d t_v q_{v,tulo} \quad (11)$$

$q_{v, korvausilma}$	korvausilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
$q_{v, poisto}$	poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s

Jos tuloilmavirta on suurempi tai yhtä suuri kuin poistoilmavirta, korvausilmaa ei ole

### 3.7 Lämpökuormat

Lämpökuormiin kuuluu lämpökuormat ihmisistä, valaistuksesta ja sähkölaitteista, ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia ja lämpöveden aiheuttama lämpökuorma. Ikkunoiden kautta tulevaan lämpökuormaan vaikuttaa ikkunoiden koko, suuntaus ja ikkunan kokonaissäteilyn läpäisykerroin.

Ikkunoiden kautta tuleva säteilyenergia lasketaan kaavalla (12). Energia sisältää ikkunoista suoraan sisälle suoraan tuleva energia ja absorboituneena lämpönä sisälle tuleva energia.

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \sum Q_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (12)$$

$Q_{aur}$	ikkunoiden kautta tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk
$Q_{säteily, vaakapinta}$	vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia, kWh/(m <sup>2</sup> kk)
$G_{säteily, pystypinta}$	Pystypinnalle tulevan auringon kokonaissäteilyenergia, kWh/(m <sup>2</sup> kk)
$F_{suunta}$	Muuntokerroin jolla muunnetaan vaakatason säteilyenergia pystypinnalle tulevaksi säteilyenergiaksi
$F_{läpäisy}$	Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
$A_{ikk}$	ikkuna-aukon pinta-ala, m <sup>2</sup>
$g$	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Auringon kokonaissäteilyenergiat ja muuntokertoimet ilmansuunnittain ka kuukausittain eri säävyöhykkeille esitetään rakentamismääräyskokoelman osassa D3.

### 3.8 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 13

$$Q_{lkv,netto} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} - Q_{lkv,LTO} \quad (13)$$

$Q_{lkv, netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	laatumuunnos kilovattitunneiksi
$Q_{lkv,LTO}$	Käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh

Nettotarve sisältää käytetyn lämpimän käyttöveden lämmittämisen ilman mahdollista, lämmityslaitteet, varaajan tai putkiston lämpöhäviö-energiaa. Lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona ( $T_{lkv} - T_{kv}$ ) voidaan käyttää arvoa 50 °C

### 3.9 Käyttöveden lämmitys aurinkokeräimellä

Työn hirsirunkoisessa talossa käytetään käyttöveden lämmittämiseen apuna aurinkokeräimiä. Lämmitys aurinkoenergialla lasketaan kaavalla (14)

$$Q_{aurinko,lkv} = q_{aurinkokeräin} A_{aurinkokeräin} k_{aurinkokeräin} \quad (14)$$

$Q_{aurinko,lkv}$	Aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen, kWh
$q_{aurinkokeräin}$	keräimen energiantuotto veteen keräinpinta-alaa kohti, (kwh/m <sup>2</sup> a)
$A_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimen pinta-ala
$k_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimen suuntauksen huomioon ottava kerroin.

$q_{aurinkokeräin}$  ja  $k_{aurinkokeräin}$  arvot saadaan rakentamismääräyskokoelman taulukoista 6.8 ja 6.9

### 3.10 Lämmitysjärjestelmän energian kulutus

Lämmitys järjestelmän energiankäyttö koostuu tilojen- ja ilmanvaihdon lämmityksestä sekä lämpimän käyttöveden valmistuksen energiankäytöstä

$$Q_{lämmitys} = \frac{Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lämmitys,lkv} - Q_{aurinko,lkv} - Q_{muu\ tuotto}}{\eta_{tuotto}} \quad (15)$$

$Q_{lämmitys}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$Q_{lämmitys, tilat}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{lämmitys, iv}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve (kohta 6.2.2), kWh/a
$Q_{lämmitys, lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kohta 6.3), kWh/a
$Q_{aurinko, lkv}$	aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen, kWh/a
$Q_{muu}$	tuotto muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia, kWh/a
$\eta_{tuotto}$	lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Jos rakennuksessa on kaksi tai useampia lämmitysjärjestelmiä, lämmitysenergian kulutus lasketaan järjestelmittäin. Jos rakennuksessa on varaava tulisija, varaavasta tulisijasta saadaan tilaan saatavaksi lämmitysenergiaksi enintään 2 000 kWh (Energiatehokkuus suomen RakMK D3 2012/24).

Energiatodistuksessa rakennuksen energialuokka ilmaistaan energiatehokkuusluokalla, jota kuvataan tunnuksissa A-G. Uudisrakennuksissa e-luokan tulisi olla vähintään C. Hirsitaloille on omat energiatehokkuusvaatimukset, mutta energialuokitus tehdään kuitenkin kuten muille taloille. Taulukossa 2 on esitetty energiatehokkuusluokkien vaatimukset (Energiatehokkuus suomen RakMK D3 2012/09).

TAULUKKO 2. Energiatehokkuusluokat (Energiatehokkuus suomen RakMK D3 2012/09)

<b>Energiatehokkuusluokka</b>	<b>Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>vuosi)</b>
<b>A</b>	E-luku ≤75
<b>B</b>	76 ≤ E-luku ≤100
<b>C</b>	101 ≤ E-luku ≤130
<b>D</b>	131 ≤ E-luku ≤160
<b>E</b>	161 ≤ E-luku ≤190
<b>F</b>	191 ≤ E-luku ≤240
<b>G</b>	241 ≤ E-luku

### 3.11 Lamit energialaskenta ohjelmistot

E-luvun laskentaan työssä käytettiin lamit energiajunior- laskenta ohjelmaa. Osakeyhtiö lamit.fi tuo rakennusprosesseihin viimeisintä tietoa energiatehokkuudesta, lainsäädännöstä ja laskentamenetelmistä. Yhtiö on perustettu 1995 ja nimi lamit tulee sanoista laskenta mitta. Yhtiön tavoitteena on vähentää rakennusten käyttämää energiamäärää. Tavoite toteutetaan jatkuvasti kehittyvien laskenta- ja mittaus työkalujen avulla sekä kouluttamalla ja tiedottamalla rakennusalan suunnitteluprosesseissa toimivia osajia. ohjelmia on neljä eritasoista ohjelmistoa, Energiajunior, Energiasenior, Energiapremier ja Energiasuperior. (lamit.fi)

Energiajunior, jota tässä työssä hyödynnetään, on jäähdyttämättömille uudisrakennuksille. Ohjelmasta saa tulosteina kaikki energiaselvityslaskelman joita tarvitaan rakennuslupaa varten. Energiasenior on tarkoitettu jo olemassa olevien rakennuksille ja ohjelmistolla voidaan laatia energiaselvitykset ja energiatodistukset. Energiapremier on tuntipohjainen laskentaohjelmisto jolla voidaan laatia energiaselvitykset omakotitaloille joissa on jäähdytys. Energiasuperior ohjelman pohjalta on tehty muut ohjelmaversiot. Ohjelma voi ottaa tietoa muista tietojärjestelmistä ja se voidaan yhdistää esimerkiksi CAD-ohjelmaan. (lamit.fi)

### 3.12 Rakennukset

Tarkasteltavia rakennuksia saatiin kahdeksan, jotka on koottu Timo Lohelan työn rakenteista. Rakenteita oli kaksi vesikattoa, kolme yläpohjaa, seitsemän runkoa, kolme alapohjaa ja kaksi sokkeliä. Alla on lueteltu eri talo vaihtoehdot ja niiden rakenteet. Lisäksi osaan lisätty rakenteiden u-arvot, koska ne ovat mukana E-luvun laskennassa.

#### Rankarunko talo, tiiliverhouksella

- konesaumattupeltikate
- liimapuupalkki yläpohja, U-arvo 0,090 W/m<sup>2</sup>K
- rankarunko tiiliverhouksella, U-arvo 0,148 W/m<sup>2</sup>K
- maanvarainen paikallavalulaatta, U-arvo 0,086 W/m<sup>2</sup>K
- paikallavalu sokkeli.

#### Rankarunko talo lautaverhouksella

- konesaumattupeltikate
- liimapuupalkki yläpohja, U-arvo 0,110 W/m<sup>2</sup>K
- rankarunko lautaverhouksella, U-arvo 0,154 W/m<sup>2</sup>K
- maanvarainen paikallavalulaatta, U-arvo 0,086 W/m<sup>2</sup>K
- paikallavalu sokkeli.

#### Betonirunko tuulettuvalla alapohjalla

- bitumihuopakate
- ontelolaatta yläpohja, U-arvo 0,077 W/m<sup>2</sup>K
- betonirunko, U-arvo 0,171 W/m<sup>2</sup>K
- tuulettuva ontelolaatta alapohja, U-arvo 0,078 W/m<sup>2</sup>K
- paikallavalu sokkeli.

#### Betonirunko, maanvarainen alapohja

- konesaumattupeltikate
- ontelolaatta yläpohja, U-arvo 0,077 W/m<sup>2</sup>K
- betonirunko, U-arvo 0,171 W/m<sup>2</sup>K
- maanvarainen paikallavalulaatta, U-arvo 0,086 W/m<sup>2</sup>K
- paikallavalu sokkeli.

## CLT-runko, lautaverhous

- konesaumattupeltikate
- CLT-yläpohja U-arvo 0,081 W/m<sup>2</sup>K
- CLT-runko, lautaverhous U-arvo 0,154 W/m<sup>2</sup>K
- maanvarainen paikallavalulaatta U-arvo 0,086 W/m<sup>2</sup>K
- paikallavalu sokkeli.

## CLT-runko, tiiliverhous

- konesaumattupeltikate
- CLT-yläpohja U-arvo 0,081 W/m<sup>2</sup>K
- CLT-runko, tiiliverhous U-arvo 0,156 W/m<sup>2</sup>K
- maanvarainen paikallavalulaatta U-arvo 0,086 W/m<sup>2</sup>K
- paikallavalu sokkeli.

## Hirsirunko

- konesaumattupeltikate
- liimapuupalkki yläpohja U-arvo 0,09 W/m<sup>2</sup>K
- liimapuuhirsirunko U-arvo 0,470 W/m<sup>2</sup>K
- liimapuupalkki alapohja, tuulettuva U-arvo 0,086 W/m<sup>2</sup>K
- paikallavalusokkeli.

## Lämpöharkkorunko

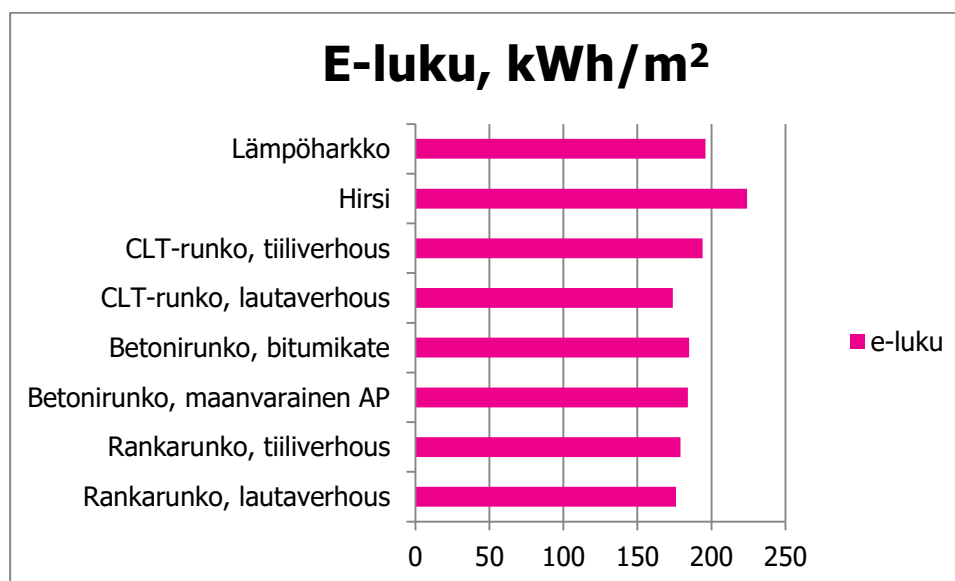
- konesaumattupeltikate
- ontelolaatta yläpohja U-arvo 0,077 W/m<sup>2</sup>K
- lämpöharkkorunko U-arvo 0,16 W/m<sup>2</sup>K
- maanvarainen paikallavalulaatta U-arvo 0,086 W/m<sup>2</sup>K
- lämpöharkko sokkeli.

## 4 RAKENNUKSIEN E-LUVUT

Taulukossa 3 on esitelty rakennusten E-luvut, jotka saatiin Lamit energiajunior-laskentaohjelmasta ja läpäisyvaatimukset, sekä e-luokka.

Taulukko 3. E-luvut

Tyyppi	E-luku kWh/m <sup>2</sup>	Vaatus kWh/m <sup>2</sup>	e-luokka
<b>Lämpöharkko</b>	196	204	C
<b>Hirsi</b>	217	229	D
<b>CLT-runko, tiiliverhous</b>	194	204	C
<b>CLT-runko, lautaverhous</b>	174	204	C
<b>Betonirunko, maanvarainen AP</b>	184	204	C
<b>Betonirunko, tuulettuva AP</b>	185	204	C
<b>Rankarunko, tiiliverhous</b>	179	204	C
<b>Rankarunko, lautaverhous</b>	176	204	C



Kuvio 1. Rakennusten E-luvut, jotka on saatu lamit energiajunior laskentaohjelmasta.

Kuviossa 1 on vertailtu talojen E-lukuja. Hirsitalon luku on suurin, mutta sitä ei suoraan voida vertailla muihin rakennuksiin koska hirsitalon E-luvun vaatimus on erilainen kuin muissa taloissa. Lisäksi hirsitaloon jouduttiin parantamaan ikkunoiden ja ovien eristävyttä sekä lisäämään aurinkokeräin järjestelmä tuottamaan lämpöä, jotta E-luku saataisiin hyväksyttäviin rajoihin. Muiden talojen kohdalla E-lukujen ero ei ole suuri, mutta parhaimmat arvot tulevat puurunkoisille taloille joista paras on CLT-runkoinen lautaverhouksella.

## 5 RAKENNUS KUSTANNUKSET

Jokaisen rakennushankeen suunnitteluvaiheessa tulisi laatia kustannusarvio, koska suunnittelun alkuvaiheella tehdyillä valinnoilla on suuri vaikutus tuleviin kustannuksiin. Vuonna 2008 rakentaminen pääkaupunkiseudulla maksoi keskimäärin 2 752 €/m<sup>2</sup> ja muualla Suomessa 1 223 €/m<sup>2</sup>. Kustannusarvioita laatiessa tulee tietää millaisia kuluja pientalon- rakentajan on maksettava. Tonttikustannuksien osuus on 5-20 %, rakennuttamiskustannukset ovat 5-10 % ja rakennuskustannuksien osuus on 70–90% kokonaiskustannuksista. Tässä työssä lasketaan vain rakentamiskustannukset. Kustannukset jakautuvat keskimäärin seuraavasti, Perustukset 10 %, alapohja 10 %, yläpohja 15 % ulkoseinät 10 % sisäseinät 5 %, ovet ja ikkunat 5-10 %, sisustukset 5-10 %, sähkötyöt 5 % ja putkityöt 15–20 % (Puuinfo 2010/06).

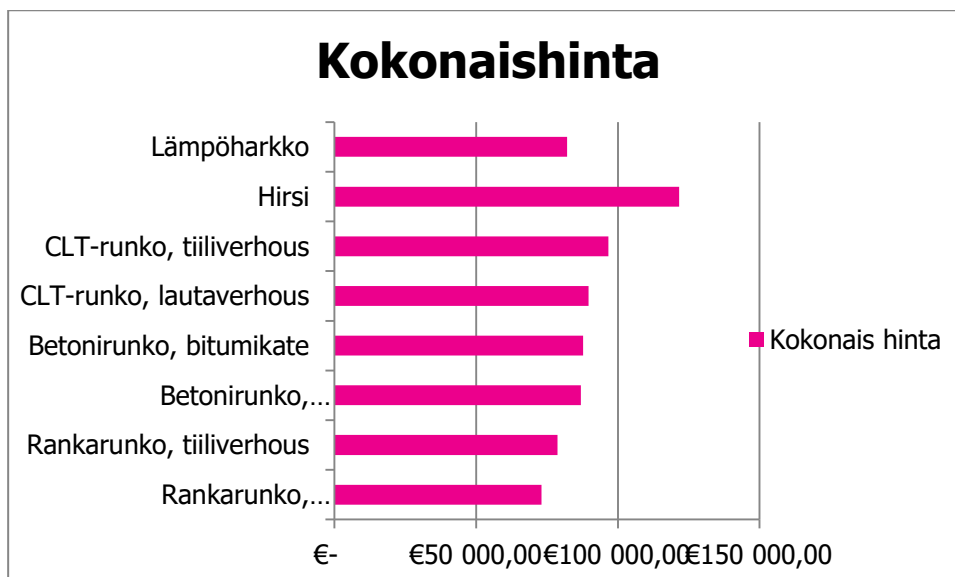
Tässä työssä lasketaan vertailun vuoksi eri runko vaihtoehtojen kustannuseroja. Talojen kustannuksia vertaillaan vain runkojen perusteella, joten kustannuksiin on otettu huomioon vain vesikatto, yläpohja, ulkoseinät, alapohja ja sokkeli. Vaikka työssä lasketaan vain runkotyöt, on kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että tuulettuvan alapohjan kohdalla maanrakennustyöt ja perustukset vaikuttavat lopulliseen hintaan ja voi poiketa muiden vertailussa käytettyjen rakennusten kustannuksista. Joten rakennuksia joissa on tuulettuva alapohja, ei voi suoraan verrata muihin rakennuksiin tässä tarkastelussa. Liitteessä 2 on esitetty laskutoimitukset kustannuksille.

Taulukko 4. Kustannukset

Tyyppi	Materiaalit	Työmenekki	Yhteensä
<b>Lämpöharkko</b>	57 360 €	11 068 €	<b>82 113 €</b>
<b>Hirsi, tuulettuva AP</b>	94 535 €	6 772 €	<b>121 568 €</b>
<b>CLT-runko, tiiliverhous</b>	68 180 €	12 380 €	<b>96 672 €</b>
<b>CLT-runko, lautaverhous</b>	64 515 €	10 195 €	<b>89 651 €</b>
<b>Betonirunko, maanvarainen AP</b>	67 232 €	5 874 €	<b>87 728 €</b>
<b>Betonirunko, tuulettuva AP</b>	66 553 €	5 910 €	<b>86 955 €</b>
<b>Rankarunko, tiiliverhous</b>	54 850 €	10 749 €	<b>78 718 €</b>
<b>Rankarunko, lautaverhous</b>	51 194 €	9 631 €	<b>72 989 €</b>

Laskemiin on otettu huomioon rakenteisiin vaaditut materiaalit, kuljetus kustannukset, rakentamiseen kulunut työmenekki, sekä arvolisävero. Kuljetuksista koituvat kustannukset on laskettu yhtä kilometriä kohden (€/km), koska rakennuskohteen tarkkaa sijaintia ei ole määritetty, eikä siten kuljettavaa matkaa tiedetä.





Kuvio 2. Rakennusten kokonaishinnat

Kuten kuviosta 2 ja taulukosta 4 huomataan, että hirsitalon runko tulee vaihtoehdoista kalliimmaksi. Hirsi itsessään on kallis rakennusmateriaali, lisäksi hirsitalon kustannuksia nostaa paremmat ikkunat ja ovet sekä aurinkokeräin järjestelmä, joita ei muissa rakennuksissa ole. Muiden rakennusten kustannuksissa ei ilmene suuria eroja. Kuitenkin halvimmaksi rakennukseksi selvisi lautaverhouksellinen rankarunko rakennus.

## 6 PÄÄSTÖT

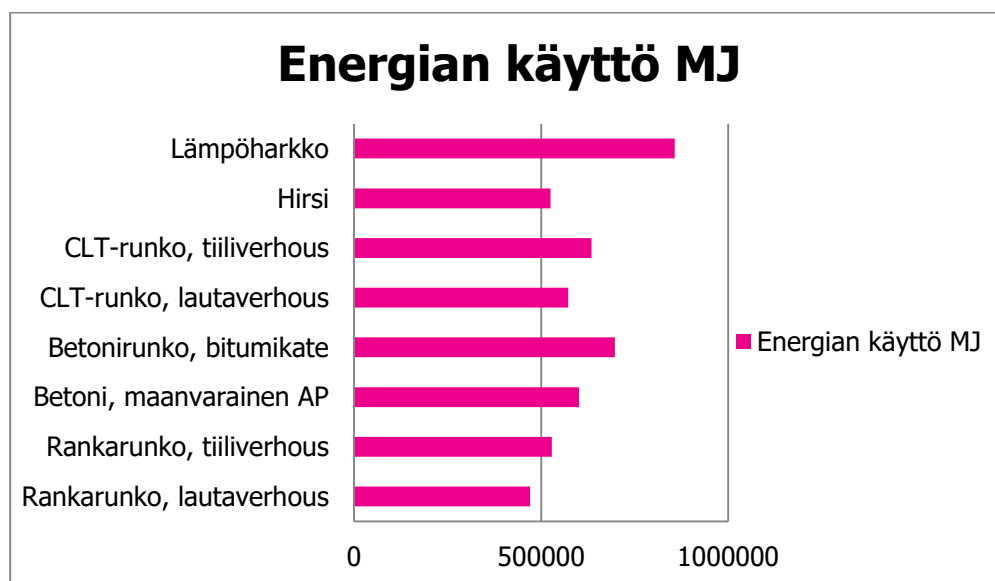
Rakennusosien päästöt laskettiin hankkeen aikaisemmassa osassa. Tässä työssä päästöt laskettiin koko rakennuksen rakennusaikaiset päästöt kertomalla aikaisemmin saadut tulokset rakennusosien pinta-aloilla ja lopulta yhdistettiin. Liitteessä 1 on esitetty laskutoimitukset päästöille.

### 6.1 Energian käyttö

Energian käytössä huomioidaan materiaalin hankkimiseen, rakenteiden valmistamiseen, rakentamiseen ja kuljetuksiin käytetty energia. Taulukosta 5 ja kuviosta 3 käy ilmi, että kaikkein eniten energiaa tarvitaan tuottamaan lämpöharkko rakennuksen materiaalit ja rakentaminen. Kaikkein vähiten energiaa vaatii hirsi-runkoisen talon rakentaminen.

Taulukko 5. Energian käyttö

Tyyppi	Energian käyttö MJ
<b>Lämpöharkko</b>	857430,06
<b>Hirsi</b>	525276,41
<b>CLT-runko, tiiliverhous</b>	635082,16
<b>CLT-runko, lautaverhous</b>	572082,44
<b>Betonirunko, maanvarainen AP</b>	601079,66
<b>Betonirunko, tuulettuva AP</b>	696913,36
<b>Rankarunko, tiiliverhous</b>	528247,14
<b>Rankarunko, lautaverhous</b>	469971,76



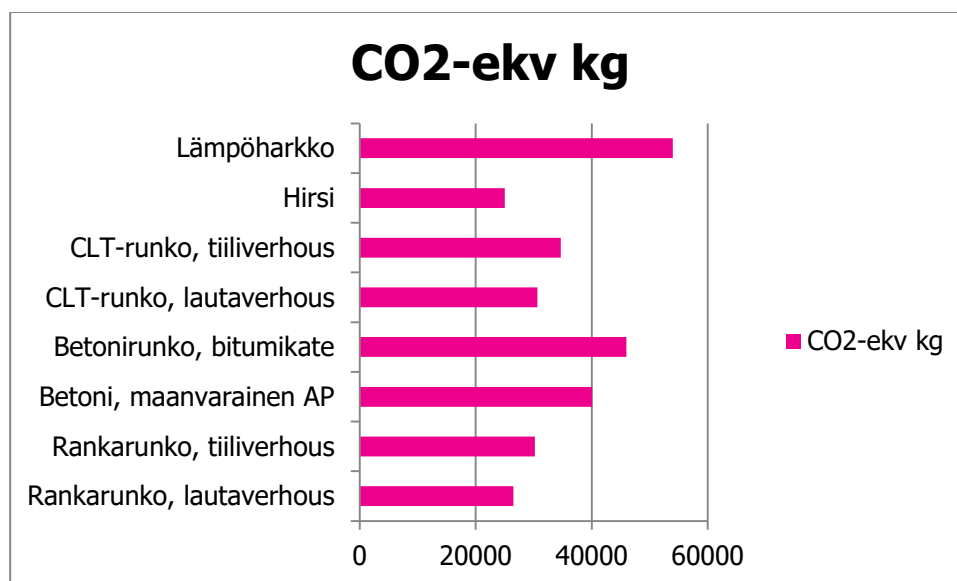
Kuvio 3. Rakennusten energian käyttö

## 6.2 Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä

Ilmaston lämpenemistä aiheuttavat kasvihuonekaasut, jotka aiheuttavat kasvihuone ilmiön. Merkittäv in päästön lähde on fossiiliset polttoaineet. (Schroderus 2014/20). Taulukossa 6 ja kuviosta 4 on esitetty rakennusten CO<sub>2</sub> päästöjen määrä.

Taulukko 6. Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen määrä

Tyyppi	CO <sub>2</sub> -ekv kg
<b>Lämpöharkko</b>	53970,94
<b>Hirsi</b>	24990,18
<b>CLT-runko, tiiliverhous</b>	34665,01
<b>CLT-runko, lautaverhous</b>	30616,59
<b>Betonirunko, maanvarainen AP</b>	40104,33
<b>Betonirunko, tuulettuva AP</b>	46010,73
<b>Rankarunko, tiiliverhous</b>	30199,08
<b>Rankarunko, lautaverhous</b>	26505,66



Kuvio 4. Rakennusten ilmastonlämpenemiseen vaikuttavat päästöt

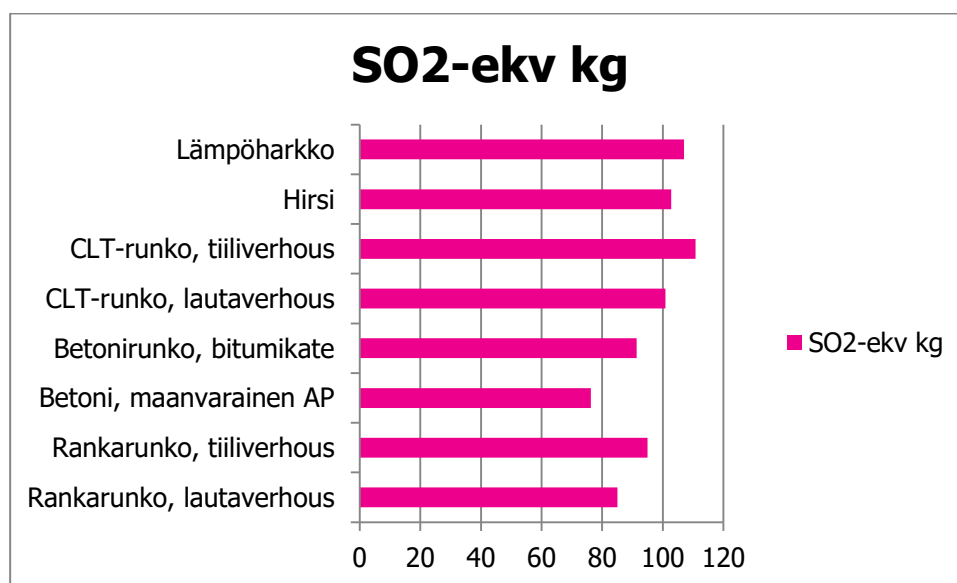
että ilmastonlämpenemiseen vaikuttavia päästöjä muodostuu kivrunkoisista rakennuksista eniten ja lämpöharkkorunkoisesta rakennuksesta päästöjä muodostuu eniten.

### 6.3 Happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä

Happamoitumisella tarkoitetaan pH:n pysyvää alenemista ympäristössä. Happamoitumista aiheuttavia aineita syntyy esimerkiksi liikenteestä ja teollisuudesta (Schroderus 2014/21). Taulukossa 7 ja kuviossa 5 on esitetty rakennuksien SO<sub>2</sub> päästöjen määrä

TAULUKKO 7. Happamoittavien aineiden muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä

Tyyppi	SO <sub>2</sub> -ekv kg
<b>Lämpöharkko</b>	107,06
<b>Hirsi</b>	102,77
<b>CLT-runko, tiiliverhous</b>	110,85
<b>CLT-runko, lautaverhous</b>	100,91
<b>Betonirunko, maanvarainen AP</b>	76,25
<b>Betonirunko, tuulettuva AP</b>	91,41
<b>Rankarunko, tiiliverhous</b>	94,97
<b>Rankarunko, lautaverhous</b>	85,03



Kuvio 5. Rakennusten happamoittavien aineiden määrä

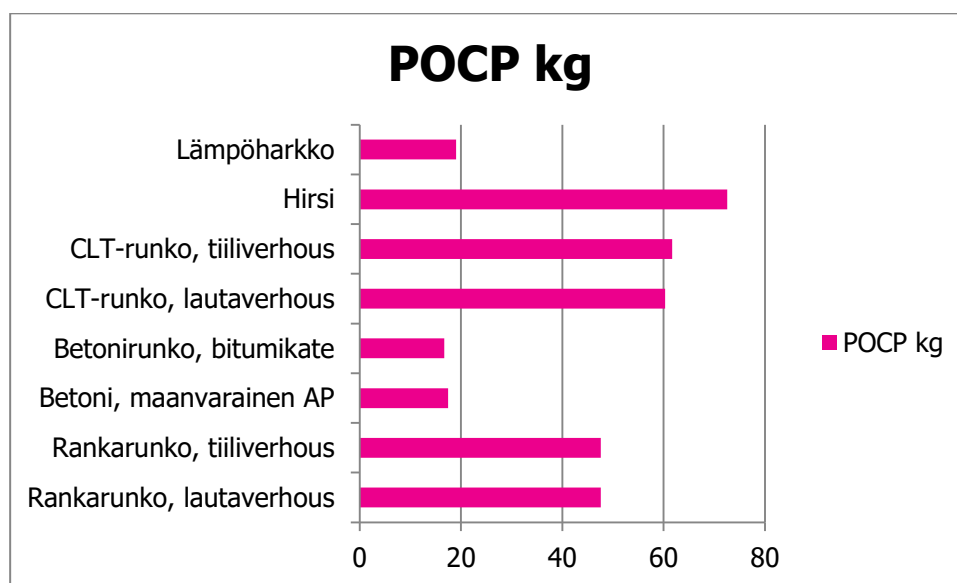
Happamoittavien aineiden määrässä ei ilmene niin suuria eroja talojen välillä kuin muissa päästöissä. Pienimmät päästöt kuitenkin tulee betonirunkoisesta talosta jossa on maanvarainen alapohja.

#### 6.4 Alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä

Otsooni on alailmakehässä ilmansaaste ja sitä muodostuu valokemiallisessa reaktiossa, esimerkiksi liikenteen pakokaasujen reagoidessa auringon valon ja ilman hapen kanssa (Schroderus 2014/21). Taulukossa 8 ja kuviossa 6 on esitetty rakennusten POCP päästöjen määrä.

TAULUKKO 8. Alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä

Tyyppi	POCP kg
Lämpöharkko	19,02
Hirsi	72,53
CLT-runko, tiiliverhous	61,71
CLT-runko, lautaverhous	60,29
Betonirunko, maanvarainen AP	17,43
Betonirunko, tuulettuva AP	16,67
Rankarunko, tiiliverhous	47,56
Rankarunko, lautaverhous	47,56



Kuvio 6. Rakennusten alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrä

Alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavien päästöjen määrässä ilmene suurempia eroja rakennusten välillä. Toisista päästöistä poiketen puurunkoisten rakennusten päästöjen määrät ovat suurimpia ja kaikkein suurimmat päästöt tulee hirsirunkoisesta rakennuksesta. Lämpöharkkorunkoisessa ja betonirunkoisissa rakennuksissa päästöt ovat lähes samat, mutta hieman muita vähemmän päästöjä muodostuu betonirunkoisesta rakennuksesta jossa on maanvarainen alapohja.

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyöstä saatiin tarvittavat taulukot ja kaaviot joista käy ilmi taloversioiden erot. Taulukoista voidaan vertailla talojen E-lukuja, kustannuksia sekä päästöjä. Parhaan E-luvun sain CLT-runkoinen talo jossa on lautaverhous. Huonoin E-luku saatiin hirsirunkoisella talolla. Kustannuksiltaan halvin talo on rankarunkoinen talo, lautaverhouksella ja kallein talo on hirsirunkoinen. Päästöjen kohdalla eroja on paljon. Energian kulutuksen ja CO<sub>2</sub>- päästöjen kannalta kivirunkoiset ovat haitallisimpia, joista lämpöharkkorunkoinen on haitallisin. SO<sub>2</sub>-päästöjä selvästi vähiten muodostuu betonirunkoisesta jossa on maanvarainen alapohja, mutta muiden talojen kohdalla päästöjen määrä on melko tasaista. POCP-päästöjä poikkeaa muista päästöistä siten, että puurunkoisista muodostuu eniten päästöjä ja kaikista eniten päästöjä muodostuu hirsirunkoisesta talosta.

Työstä ei saada suoraan tulosta, mikä rakennus on vaihtoehdoista selkeästi paras. Kuitenkin taloja voidaan hyvin vertailla toisiinsa. Tuloksista voi myös huomata, että ekologisuuden määrittäminen ei ole täysin yksiselitteistä vaan siihen vaikuttaa monta pientä osaa. Tästä työstä olisi vielä mahdollista halutessaan jatkaa tutkimuksia, joissa voitaisiin vielä yhdistellä tietoja ja saataisiin selkeämpi kuva, mikä talo olisi vaihtoehdoista paras. Lisäksi olisi hyvä vielä tutkia miten tulokset muuttuu pidemmällä ajalla.

## LÄHTEET

Alternative Solutions Finland Oy [verkkajulkaisu]. Aurinkoenergia-viisasvalinta. Alternative Solutions Finland Oy [viitattu 2015-05-20]. Saatavissa: <http://www.aurinkovoima.fi/fi/sivut/aurinkoenergia>

ERAT, Bruno. Luonnonmukainen ilmanvaihto. Suomen arkkitehtiliitto, SAFA. saatavilla: [http://www.luomura.com/@Bin/213022/Erat\\_Luonnonmukainen+ilmanvaihto\\_++kotisivuversio+\\_11+958.pdf](http://www.luomura.com/@Bin/213022/Erat_Luonnonmukainen+ilmanvaihto_++kotisivuversio+_11+958.pdf)

REINIKAINEN, Erja. 2015. Energiantuotantoketjut–Aineistoselvitys [verkkajulkaisu]. Granlund Oy [viitattu 2015-11-15]. Saatavissa: [http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/03/FInZEB-Taustaraportti\\_9\\_Energiantuotantoketjut1.pdf](http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/03/FInZEB-Taustaraportti_9_Energiantuotantoketjut1.pdf)

KURNITSKI, Jarek. 2012. Energiamääräykset 2012-opas uudisrakennusten energiamääräysten soveltamiseen. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy

LAPPALAINEN, Markku. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

LOHELA, Timo 2014. Savolaisen eko-pientalon rakennusosien ekologisuuden tarkastelu. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Motiva ,[verkkajulkaisu], Auringosta sähköä. Motiva. [viitattu 2015-07-28]. Saatavissa: [http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelma\\_kaytto/ylijaamasahkon\\_myynti](http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelma_kaytto/ylijaamasahkon_myynti)

Puunifo 2010. Pientalorakentajan perustieto [verkkajulkaisu]. Puuinfo [viitattu: 2015-05-20]. Saatavilla: <http://www.puuinfo.fi/tee-se-itse/pientalorakentajan-perustieto>

RAKENNUSTEN ENERGIAEHOKEUS Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto [Viitattu: 2015-04-05]. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma](http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma)

RAKENNUKSEN ENERGIAEHOKEUDEN JA LÄMMITYSTEHTÄVÄN LASKENTA Suomen Rakentamismääräyskokoelma D5 2012. Ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto [Viitattu: 2015-04-06]. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma](http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma)

SAFA energiatehokas ja ekologisesti kestävä rakennus [verkkajulkaisu]. Suomen arkkitehtiliitto. [viitattu 2015-03-19]. Saatavissa: [https://www.safa.fi/fin/safa/kestavan\\_suunnittelun\\_sivusto\\_-\\_eko-boxi/energiatehokas\\_ja\\_ekologisesti\\_kestava\\_rakennus/](https://www.safa.fi/fin/safa/kestavan_suunnittelun_sivusto_-_eko-boxi/energiatehokas_ja_ekologisesti_kestava_rakennus/)

SAFA 2014 Pientalojen suunnittelijoita 2014-opas [verkkajulkaisu]. suomen arkkitehtiliitto [viitattu 2015-04-02]. Saatavissaa: [http://www.safa.fi/fin/julkaisut/pientalojen\\_suunnittelijoita\\_-opas/](http://www.safa.fi/fin/julkaisut/pientalojen_suunnittelijoita_-opas/)

SCHRODERUS, Sauli.2014. Savolaisen eko-pientalon rakennusmateriaalien LCA-tarkastelu. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Ympäristöministeriö 2013, [verkkajulkaisu], Energiatodistusopas 2013. Ympäristöministeriö. [viitattu 2015-07-15]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Rakennuksen\\_energiatodistus/Energiatodistuslomakkeet](http://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Energiatodistuslomakkeet)



## LIITE 1. Päästö laskelmat

	m <sup>2</sup>	Energian käyttö MJ/m <sup>2</sup>	CO2-ekv kg/m <sup>2</sup>	SO2-ekv kg/m <sup>2</sup>	POCP kg/m <sup>2</sup>	Energian käyttö MJ	CO2-ekv kg	SO2-ekv k	POCP kg
<b>Rankarunko, lautaverhous</b>									
Vesikatto,pelti	155	122,15	5,65	0,03	0,027	18933,25	875,75	4,65	4,185
Ranka+lauta	142	495,03	25,27	0,18	0,12	70294,26	3588,34	25,56	17,04
AP-paikallavalulaatta	105	1452,7	99,03	0,17	0,0245	152533,5	10398,15	17,85	2,5725
Betoni sokkeli	43,416	3349,17	151,21	0,19	0,0181	145407,5647	6564,93336	8,24904	0,78583
YP-liimapuu	114,872	720,83	44,21	0,25	0,2	82803,18376	5078,49112	28,718	22,9744
<b>yhteensä</b>		<b>6139,88</b>	<b>325,37</b>	<b>0,82</b>	<b>0,39</b>	<b>469971,76</b>	<b>26505,66</b>	<b>85,03</b>	<b>47,56</b>
<b>Rankarunko, tiiliverhous</b>									
Vesikatto,pelti	155	122,15	5,65	0,03	0,027	18933,25	875,75	4,65	4,185
Ranka+tiili	142	905,42	51,28	0,25	0,12	128569,64	7281,76	35,5	17,04
AP-paikallavalulaatta	105	1452,7	99,03	0,17	0,0245	152533,5	10398,15	17,85	2,5725
betoni sokkeli	43,416	3349,17	151,21	0,19	0,0181	145407,5647	6564,93336	8,24904	0,78583
YP-liimapuu	114,872	720,83	44,21	0,25	0,2	82803,18376	5078,49112	28,718	22,9744
<b>yhteensä</b>		<b>6550,27</b>	<b>351,38</b>	<b>0,89</b>	<b>0,39</b>	<b>528247,14</b>	<b>30199,08</b>	<b>94,97</b>	<b>47,56</b>
<b>Betoni, maanvarainen AP</b>									
Betonirunko	142,2	332,21	51,08	0,09	0,028	47240,262	7263,576	12,798	3,9816
Vesikatto pelti	155	122,15	5,65	0,03	0,027	18933,25	875,75	4,65	4,185
AP maanvarainen	105	1452,7	99,03	0,17	0,0245	152533,5	10398,15	17,85	2,5725
betoni sokkeli	45	3349,17	151,21	0,19	0,0181	150712,65	6804,45	8,55	0,8145
YP-ontelolaatta	120	1930,5	123,02	0,27	0,049	231660	14762,4	32,4	5,88
<b>yhteensä</b>		<b>7186,73</b>	<b>429,99</b>	<b>0,75</b>	<b>0,15</b>	<b>601079,66</b>	<b>40104,33</b>	<b>76,25</b>	<b>17,43</b>
<b>Betonirunko, bitumikate</b>									
Betonirunko	142,2	332,21	51,08	0,09	0,028	47240,262	7263,576	12,798	3,9816
Vesikatto bitumi	155	134,46	4,75	0,033	0,01	20841,3	736,25	5,115	1,55
AP-ontelolaatta tuulettuva	105	2347,23	156,61	0,31	0,0423	246459,15	16444,05	32,55	4,4415
YP-ontelolaatta	120	1930,5	123,02	0,27	0,049	231660	14762,4	32,4	5,88
betoni sokkeli	45	3349,17	151,21	0,19	0,0181	150712,65	6804,45	8,55	0,8145
<b>yhteensä</b>		<b>8093,57</b>	<b>486,67</b>	<b>0,893</b>	<b>0,15</b>	<b>696913,36</b>	<b>46010,73</b>	<b>91,41</b>	<b>16,67</b>
<b>CLT-runko, lautaverhous</b>									
Vesikatto-pelti	155	122,15	5,65	0,03	0,027	18933,25	875,75	4,65	4,185
YP-CLT	120	1092,17	58,43	0,31	0,25	131060,4	7011,6	37,2	30
CLT-lauta	142	836,92	38,92	0,23	0,16	118842,64	5526,64	32,66	22,72
maanvarainen AP	105	1452,7	99,03	0,17	0,0245	152533,5	10398,15	17,85	2,5725
betoni sokkeli	45	3349,17	151,21	0,19	0,0181	150712,65	6804,45	8,55	0,8145
<b>yhteensä</b>		<b>6853,11</b>	<b>353,24</b>	<b>0,93</b>	<b>0,48</b>	<b>572082,44</b>	<b>30616,59</b>	<b>100,91</b>	<b>60,29</b>
<b>CLT-runko, tiiliverhous</b>									
Vesikatto-pelti	155	122,15	5,65	0,03	0,027	18933,25	875,75	4,65	4,185
YP-CLT	120	1092,17	58,43	0,31	0,25	131060,4	7011,6	37,2	30
CLT-tiili	142	1280,58	67,43	0,3	0,17	181842,36	9575,06	42,6	24,14
maanvarainen AP	105	1452,7	99,03	0,17	0,0245	152533,5	10398,15	17,85	2,5725
betoni sokkeli	45	3349,17	151,21	0,19	0,0181	150712,65	6804,45	8,55	0,8145
<b>yhteensä</b>		<b>7296,77</b>	<b>381,75</b>	<b>1</b>	<b>0,49</b>	<b>635082,16</b>	<b>34665,01</b>	<b>110,85</b>	<b>61,71</b>
<b>Hirsi</b>									
Vesikatto-pelti	155	122,15	5,65	0,03	0,027	18933,25	875,75	4,65	4,185
YP-liimapuupalkki	120	720,83	44,21	0,25	0,2	86499,6	5305,2	30	24
Hirsi	142,2	981,98	39,83	0,19	0,14	139637,556	5663,826	27,018	19,908
AP-liimapuupalkki	105	1233,27	60,39	0,31	0,225	129493,35	6340,95	32,55	23,625
Betoni sokkeli	45	3349,17	151,21	0,19	0,0181	150712,65	6804,45	8,55	0,8145
<b>yhteensä</b>		<b>6407,4</b>	<b>301,29</b>	<b>0,97</b>	<b>0,61</b>	<b>525276,41</b>	<b>24990,18</b>	<b>102,77</b>	<b>72,53</b>
<b>Lämpöharkko</b>									
Vesikatto pelti	155	122,15	5,65	0,03	0,027	18933,25	875,75	4,65	4,185
YP-ontelolaatta	120	1930,5	123,02	0,27	0,049	231660	14762,4	32,4	5,88
Lämpöharkko	143,4	2409,37	145,66	0,22	0,03	345503,658	20887,644	31,548	4,302
AP-maanvarainen	105	1452,7	99,03	0,17	0,0245	152533,5	10398,15	17,85	2,5725
Lämpöharkko sokkeli	45	2417,77	156,6	0,458	0,0462	108799,65	7047	20,61	2,079
<b>yhteensä</b>		<b>8332,49</b>	<b>529,96</b>	<b>1,15</b>	<b>0,18</b>	<b>857430,06</b>	<b>53970,94</b>	<b>107,06</b>	<b>19,02</b>

## LIITE 2. Kustannuslaskelmat

	m <sup>2</sup>	Materiaalit €/m <sup>2</sup>	Materiaalit yhteensä	Työmenekki	Kuljetus €/m2	kuljetus €/kn	Kokonais hinta	kate 20%	Hinta+kate
<b>Rankarunko, lautaverhous</b>									
1.Vesikatto,pelti	155	25,72	3 987 €	969 €	0,017	2,635		12 165 €	72 989 €
2.YP-Iiimapuu	120	114,9	13 788 €	1 492 €	1,04	124,8			
3. Ranka+lauta	142	97,94	13 907 €	4 919 €	0,73	103,66			
4. AP-paikallavalulaatta	105	95,34	10 011 €	1 343 €	0,48	50,4			
5. Betoni sokkeli	44,8	83,68	3 749 €	633 €	0,52	23,296			
Ikkunat			3 489 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
<b>yhteensä</b>			<b>50 889 €</b>	<b>9 631 €</b>		<b>304,79 €</b>	<b>60 824 €</b>		
<b>Rankarunko, tiiliverhous</b>									
1. Vesikatto,pelti	155	25,72	3 987 €	969 €	0,017	2,635		13 120 €	78 718 €
2. YP-Iiimapuu	120	114,9	13 788 €	1 492 €	1,04	124,8			
3. Ranka+tiili	142	123,16	17 489 €	6 037 €	1,26	178,92			
4. AP-paikallavalulaatta	105	95,34	10 011 €	1 343 €	0,48	50,4			
5. betoni sokkeli	44,8	83,68	3 749 €	633 €	0,52	23,296			
Ikkunat			3 489 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
<b>Yhteensä</b>			<b>54 470 €</b>	<b>10 749 €</b>		<b>380,05 €</b>	<b>65 599 €</b>		
<b>Betonirunko, maanvarainen AP</b>									
1. Vesikatto pelti	155	25,72	3 987 €	969 €	0,017	2,635		14 493 €	86 955 €
2. YP-ontelolaatta	120	123,14	14 777 €	1 360 €	0,96	115,2			
3. Betonirunko	142,2	160	22 752 €	1 329 €	1,12	159,264			
4. AP ontelolaattaa maanvaraine	105	147,53	15 491 €	1 343 €	0,48	50,4			
5. betoni sokkeli	44,8	83,68	3 749 €	633 €	0,52	23,296			
Ikkunat			3 489 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
<b>Yhteensä</b>			<b>66 202 €</b>	<b>5 910 €</b>		<b>350,80 €</b>	<b>72 463 €</b>		
<b>Betonirunko, bitumikate</b>									
3. Betonirunko	142,2	160	22 752 €	1 329 €	1,12	159,264		14 621 €	87 728 €
1. Vesikatto bitumi	155	29,74	4 610 €	840 €	0,023	3,565			
4. AP-ontelolaatta tuulettuva	105	147,53	15 491 €	1 436 €	1,01	106,05			
2. YP-ontelolaatta	120	123,14	14 777 €	1 360 €	0,96	115,2			
5. betoni sokkeli	44,8	83,68	3 749 €	633 €	0,52	23,296			
Ikkunat			3 489 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
<b>Yhteensä</b>			<b>66 825 €</b>	<b>5 874 €</b>		<b>407,38 €</b>	<b>73 107 €</b>		
<b>CLT-runko, lautaverhous</b>									
1. Vesikatto pelti	155	25,72	3 987 €	969 €	0,017	2,635		14 942 €	89 651 €
2. YP-CLT	120	187,9	22 548 €	1 778 €	1,23	147,6			
3. CLT-lauta	142	129,83	18 436 €	5 196 €	0,8	113,6			
4. AP-paikallavalulaatta	105	95,34	10 011 €	1 343 €	0,48	50,4			
5. betoni sokkeli	44,8	83,68	3 749 €	633 €	0,52	23,296			
Ikkunat			3 489 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
<b>Yhteensä</b>			<b>64 177 €</b>	<b>10 195 €</b>		<b>337,53 €</b>	<b>74 709 €</b>		
<b>CLT-runko, tiiliverhous</b>									
1. Vesikatto pelti	155	25,72	3 987 €	969 €	0,017	2,635		16 112 €	96 672 €
2. YP-CLT	120	187,9	22 548 €	1 778 €	1,23	147,6			
3. CLT-tiili	142	155,05	22 017 €	7 381 €	1,39	197,38			
4. AP-paikallavalulaatta	105	95,34	10 011 €	1 343 €	0,48	50,4			
5. betoni sokkeli	44,8	83,68	3 749 €	633 €	0,52	23,296			
Ikkunat			3 489 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
<b>Yhteensä</b>			<b>67 758 €</b>	<b>12 380 €</b>		<b>421,31 €</b>	<b>80 560 €</b>		
<b>Hirsi</b>									
1. Vesikatto pelti	155	25,72	3 987 €	969 €	0,017	2,635		20 261 €	121 568 €
2. YP-Iiimapuupalkki	120	114,9	13 788 €	1 492 €	1,04	124,8			
3. Hirsi	142,2	230,87	32 830 €	995 €	0,26	36,972			
4. AP-Iiimapuupalkki	105	296,1	31 091 €	2 408 €	1,14	119,7			
5. betoni sokkeli	44,8	83,68	3 749 €	633 €	0,52	23,296			
Ikkunat			4 520 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
Aurinkokeräimet	4	390	1 560 €						
Varaaja	1	746	746 €						
<b>Yhteensä</b>			<b>94 228 €</b>	<b>6 772 €</b>		<b>307,40 €</b>	<b>101 307 €</b>		
<b>Lämpöharkko</b>									
1. Vesikatto pelti	155	25,72	3 987 €	969 €	0,017	2,635		13 685 €	82 113 €
2. YP-ontelolaatta	120	123,14	14 777 €	1 360 €	0,96	115,2			
3. lämpöharkko	143,4	128,09	18 368 €	5 450 €	2,2	315,48			
4. AP-paikallavalulaatta	105	95,34	10 011 €	1 343 €	0,48	50,4			
5. Lämpöharkko sokkeli	44,8	94,45	4 231 €	1 670 €	1,24	55,552			
Ikkunat			3 489 €	160 €					
Ovet			1 958 €	116 €					
<b>Yhteensä</b>			<b>56 821 €</b>	<b>11 068 €</b>		<b>539,27 €</b>	<b>68 427 €</b>		